

Original document

Radar polarization diversity rainfall rate measurement

Patent number: FR2774174
 Publication date: 1999-07-30
 Inventor: ALI MEHENNI MUSTAPHA; OBLIGIS ESTELLE;
 TESTUD JACQUES VICTOR
 Applicant: CENTRE NAT RECH SCIENT (FR)
 Classification:
 - international: **G01S7/02; G01S13/95; G01S7/02; G01S13/00;** (IPC1-7):
 G01S13/95
 - european:
 Application number: FR19980000714 19980123
 Priority number(s): FR19980000714 19980123

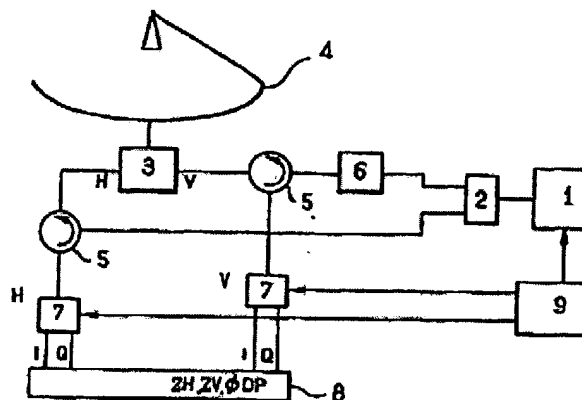
Also published as:

WO9938028 (A)
 EP1049944 (A1)
 US6473026 (B1)
 CA2318455 (A1)
 AU748399 (B2)

View INPADOC patent familyReport a data error he

Abstract of FR2774174

Knowledge of the reflectivity coefficient provides the rainfall attenuation profile, allowing the rainfall rate to be rapidly found at a specific range and overcoming statistical noise problems previously found. A second opposite polarity measurement can be taken to confirm the final result.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

⑩ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 774 174

⑫ N° d'enregistrement national : 98 00714

⑬ Int Cl⁶ : G 01 S 13/95

⑭

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 23.01.98.

⑯ Priorité :

⑰ Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS Etablissement
public à caractère scientifique et technologique — FR.

⑲ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.07.99 Bulletin 99/30.

⑳ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

㉑ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑳ Inventeur(s) : ALI MEHENNI MUSTAPHA, OBLIGIS
ESTELLE et TESTUD JACQUES VICTOR.

㉒ Titulaire(s) :

㉓ Mandataire(s) : REGIMBEAU.

㉔ TECHNIQUE POUR L'ESTIMATION DE PLUIE A PARTIR D'UN RADAR METEOROLOGIQUE A DIVERSITE DE
POLARISATION.

㉕ Procédé pour l'estimation d'un taux précipitant au
moyen d'un radar caractérisé en ce que, connaissant la pa-
ramètre de proportionnalité entre l'atténuation spécifique K
= AZD et le taux de variation différentiel de la phase, on dé-
termine une estimation de la valeur K2R20 à partir de
l'équation

et on détermine R2R connaissant K2R.

$$K(r_0) \int_{r_0}^{r_0} \frac{Z^b(s)}{Z^b(r_0) + K(r_0).I(s, r_0)} . ds = \gamma . \phi_{dp}$$

on détermine une estimation de K2R à partir de l'équa-
tion

$$\frac{Z^b(r)}{K(r)} - \frac{Z^b(r_0)}{K(r_0)} = I(r, r_0)$$

FR 2 774 174 - A1



La présente invention est relative aux techniques météorologiques pour l'estimation d'un taux précipitant au moyen d'un radar.

Pour des raisons de coût, on envisage aujourd'hui d'utiliser des radars à longueurs d'ondes courtes (bande X) permettant de réduire la taille
5 d'antenne pour une résolution angulaire donnée. Malheureusement, à ces fréquences, les ondes radar sont atténuées par la pluie ce qui rend la restitution du taux précipitant plus délicate qu'en bande C (ou S) où les effets d'atténuation sont beaucoup plus limités.

Le problème de la correction d'atténuation a été envisagé par
10 Hitschfeld et Bordan qui en ont donné dès 1954 une solution mathématiquement rigoureuse, sous l'hypothèse d'une relation paramétrique entre la réflectivité Z et l'atténuation spécifique K , du type loi puissance : $K = a Z_o^b$.

On pourra à cet égard avantageusement se référer à leur publication
15 : HITSCHFELD - BORDAN, 1954, "Errors inherent in the radar measurement of rainfall at attenuating wavelengths", J. Meteor, 11, pp. 58-67.

Malheureusement, dans une application réelle où les données sont bruitées et où l'on peut être en présence d'une erreur d'étalonnage (même
20 faible), cette solution se révèle numériquement instable.

Pour pallier cet inconvénient, il a déjà été proposé de fonctionner en diversité de polarisation et d'exploiter la réflectivité différentielle ZDR, qui est le rapport des réflectivités en polarisation H et V.

Au cours de sa chute, une goutte de pluie subit un aplatissement
25 aérodynamique qui a pour conséquence que sa section efficace de diffusion est plus grande en polarisation H qu'en polarisation V. Dans un radar opérant à fréquence atténuée, le paramètre ZDR résulte de deux effets de tendances opposées : d'une part, l'effet de rétrodiffusion différentielle (tendant à accroître ZDR avec la taille moyenne des gouttes), et d'autre part
30 l'effet d'atténuation différentielle (de tendance opposée).

Pour un exemple récent de détermination d'un taux précipitant à partir d'un radar à double polarisation, on pourra avantageusement se référer à la demande de brevet FR-2 742 876, ainsi qu'à la publication :

"Polarimetric Radar at Attenuated Wavelengths as a Hydrological sensor" – M. SAUVAGEOT – Journal of atmospheric and oceanic technology – vol. 13 – p. 630-637, 1996.

Toutefois, la mesure du coefficient ZDR n'est pas aisée.

- 5 La dynamique de variation de ZDR est d'environ 1 à 2 et couvre donc quelques dB tout au plus. En outre, cette mesure requiert un inter-étalonnage des voies H et V au dixième de dB ; l'intégration sur de nombreux échantillons indépendants pour tempérer la fluctuation statistique du signal, et de très bonnes performances de l'antenne (lobes secondaires
10 à 30 dB – aller – en dessous du lobe principal).

En alternative, il a également été proposé, notamment par la publication :

- "Differential propagation phase shift and rainfall rate estimation" – M. SACHINANDA, D.S. ZRNIC – Radio science – vol. 21, n°2, p. 235-247,
15 March-April 1986.

- d'exploiter un autre paramètre, à savoir la phase différentielle (notée Φ_{dp}). En effet, l'aplatissement de la goutte de pluie n'affecte pas seulement la section efficace de rétrodiffusion induisant la dissymétrie $\sigma_H > \sigma_V$ (où σ_H et σ_V représentent les sections efficaces en polar H et V, respectivement),
20 mais aussi la propagation de l'onde radar dont le vecteur d'onde est affecté tant pour sa partie imaginaire (l'atténuation spécifique est plus forte en polarisation H qu'en polarisation V, effet d'atténuation différentielle précédemment mentionné), que pour sa partie réelle (où la dissymétrie entre H et V se traduit par une variation différentielle de la phase le long du
25 trajet. Or, la dérivée de Φ_{dp} le long du rayon (taux de variation de Φ_{dp} , notée K_{dp}) est quasi-proportionnelle au taux précipitant (et donc Φ_{dp} , au taux précipitant intégré), ce qui explique l'intérêt de le mesurer.

- L'estimateur de K_{dp} présente de nombreux avantages : il est insensible à l'atténuation le long du trajet ; il est insensible à une erreur
30 d'étalonnage du radar ; il est beaucoup moins affecté que ZDR par les lobes secondaires de l'antenne ; il n'est aucunement affecté par un masque partiel

du faisceau d'antenne (ce qui arrive systématiquement quand on opère à faible élévation).

Il présente cependant l'inconvénient majeur d'être fortement bruité car il résulte de la dérivation le long du faisceau de Φ_{dp} . La mesure de K_{dp} requiert donc un long temps d'intégration, incompatible avec l'application hydrologique qui impose un balayage rapide du faisceau radar.

L'invention propose quant à elle une technique qui permet de pallier les inconvénients des techniques antérieures et qui met en œuvre un traitement simple, fiable et robuste, en particulier vis-à-vis du bruit statistique de mesure (ce qui permet un balayage rapide).

Plus particulièrement, l'invention propose un procédé pour l'estimation d'un taux précipitant au moyen d'un radar bipolaire, caractérisé par les différentes étapes suivantes :

- on mesure au moyen dudit radar bipolaire, sur un intervalle $[r_1, r_0]$ donné de rayon r de trajet par rapport audit radar, la phase différentielle Φ_{dp} et la réflectivité atténuée Z selon au moins l'une des polarisations H ou V,
- on détermine une estimation de la valeur $K(r_0)$ de l'atténuation spécifique en r_0 à partir de l'équation

$$K(r_0) \int_{r_1}^{r_0} \frac{Z^b(s)}{Z^b(r_0) + K(r_0) \cdot I(s, r_0)} ds = \gamma \cdot \phi_{dp}$$

avec
$$I(s, r) = 0.46b \int_s^{r_0} Z^b(u) du$$

où $Z(r)$ est la réflectivité mesurée le long de la radiale et b est l'exposant de la loi puissance $[K(r_0) = a Z(r_0)^b]$ liant l'atténuation spécifique en r_0 à la réflectivité non atténuée $Z(r_0)$,

et où γ est le paramètre de proportionnalité entre l'atténuation spécifique et le taux de variation différentiel de la phase,

- on détermine une estimation de $K(r)$ à partir de l'équation

$$\frac{Z^b(r)}{K(r)} - \frac{Z^b(r_0)}{K(r_0)} = I(r, r_0)$$

- on détermine le taux précipitant $R(r)$ connaissant $K(r)$.

- Avantageusement, on mesure la réflectivité atténuée Z pour l'une et l'autre des deux polarisations H ou V et on détermine pour l'une et l'autre de ces deux polarisations le taux précipitant $R(r)$ pour un rayon de trajet donné r .

L'invention concerne également un dispositif pour l'estimation d'un taux précipitant comportant un radar bipolaire, ainsi que des moyens de traitement, caractérisé en ce que ledit radar comporte des moyens pour la mesure de la phase différentielle Φ_{dp} et de la réflectivité atténuée Z selon au moins l'une des polarisations H ou V et en ce que les moyens de traitement mettent en œuvre les différentes étapes de traitement du procédé selon la revendication 1.

- D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 illustre un dispositif pour la mise en œuvre du procédé conforme à l'invention ;
- les figures 2a à 2c, 3a à 3c, 4a à 4c sont des graphes, dans lesquels on a supposé que le faisceau radar intercepte deux cellules de pluie de forme gaussienne sur lesquels on a porté les paramètres Z , K et R pour différentes valeurs du paramètre N_0 (défini plus loin dans la description) de distribution dimensionnelle des gouttes de pluie.
- la figure 5 est un graphe sur lequel on a porté une simulation de variations pour le coefficient N_0 en fonction du rayon de trajet r
- les figures 6a à 6c sont des graphes sur lesquels on a porté, pour le cas où N_0 est variable, les valeurs obtenues pour les paramètres Z , K et R ;
- les figures 7a à 7c et les figures 8a à 8c sont des graphes sur lesquels on a porté les paramètres Z , K et R obtenus pour des biais absolus

de 2dB et 5 dB respectivement et pour une valeur de N_0 et une prise égale à 8000 ;

- les figures 9a à 9c et 10a à 10c sont des figures semblables à celles des figures 7a à 7c et 8a à 8c dans le cas de biais relatifs pris
5 respectivement égaux à 0.2 dB et 0.5 dB ;

- les figures 11a à 11c et 12a à 12c sont des graphes sur lesquels on a porté les valeurs obtenues pour les paramètres Z, K et R dans le cas de restitution à partir d'un nombre d'échantillons égal à 60 et d'un nombre d'échantillons égal à 10 ;

10 - les figures 13a à 13c sont des graphes sur lesquels on a porté les valeurs obtenues pour les paramètres Z, K et R dans le cas d'un taux de pluie maximum de 200 mm/heure et d'un signal bruité.

Le procédé qui va maintenant être décrit met en œuvre un traitement sur la phase différentielle Φ_{dp} et la réflectivité atténuée Z_H (ou Z_V) selon la
15 polarisation H (ou V) (réflectivité Z dans la suite du texte).

Dans une première étape, on détermine pour la distance radiale r à partir de l'antenne radar un intervalle $[r_1, r_0]$, dans lequel les données Z et Φ_{dp} sont disponibles continuellement.

On sait que l'équation d'Hitschfeld – Bordan s'écrit :

20

$$u^{b-1} \frac{du}{dr} = -0.46aZ^b \quad (1)$$

avec $u = Z/Z_0$ où Z_0 est la réflectivité atténuée et Z la réflectivité apparente, et où a et b sont les deux paramètres de la loi de puissance $K = aZ_0^b$, dans
25 laquelle K est l'atténuation spécifique. On rappelle que a est fortement variable, tandis que b est stable.

La solution de cette équation (1) est, lorsque l'on intègre entre deux bornes r_1 et r_2 :

$$\left[u^b \right]_{r_1}^{r_2} = -0.46ab \int_{r_1}^{r_2} Z^b ds \quad (2)$$

30

En exprimant (2) entre r et r_0 , il vient :

$$\frac{Z^b(r)}{K(r)} - \frac{Z^b(r_0)}{K(r_0)} = I(r, r_0) \quad (3)$$

où

$$I(r, r_0) = 0.46b \int_r^{r_0} Z^b ds \quad (4)$$

et où $K = aZ_0^b$

L'équation (3) fournit un estimateur de $K(r)$ que l'on va chercher à contraindre par l'information de Φ_{dp} en ajustant $K(r_0)$. Pour cela on transforme (3) en

10

$$K(r) = K(r_0) \frac{Z^b(r)}{Z(r_0) + K(r_0)I(r, r_0)} \quad (5)$$

Or, la dérivée de la phase Φ_{dp} par rapport au trajet r , ou taux de variation de la phase différentielle K_{dp} , est une fonction quasi-linéaire de l'atténuation spécifique K (c'est-à-dire K_H ou K_V , selon la polarisation sur laquelle on travaille).

Par conséquent,

$$\int_{r_1}^{r_0} K(s) ds = \gamma (\phi_{dp}(r_0) - \phi_{dp}(r_1)) \quad (6)$$

où γ est un paramètre de proportionnalité connu

soit :

$$K(r_0) \int_{r_1}^{r_0} \frac{Z^b(s)}{Z(r_0) + K(r_0)I(s, r_0)} ds = \gamma (\phi_{dp}(r_0) - \phi_{dp}(r_1)) \quad (7)$$

25

A partir de cette estimation de $K(r_0)$, on détermine $K(r)$ en tout point de l'intervalle $[r_1, r_0]$ à partir de l'équation (3). On remarque que l'intérêt de cette formulation est d'une part, qu'elle fournit une solution $K(r)$

indépendante du paramètre a qui est précisément le plus fluctuant, et d'autre part, qu'elle fait appel à une mesure différentielle de la phase différentielle, beaucoup plus aisée à atteindre qu'une mesure absolue.

Ceci permet d'estimer la valeur du taux précipitant $R(r)$, en utilisant
 5 par exemple à cet effet des abaques donnant $R(r)$ en fonction de $K(r)$ pour plusieurs valeurs du paramètre a , lequel peut être lui-même déterminé à partir de la relation :

$$K(r_0) = a Z(r_0)^b$$

En mettant en œuvre le traitement qui vient d'être décrit pour l'une et
 10 l'autre des deux polarisations H et V, on dispose, in fine, de deux estimations de R qu'il est possible de croiser pour valider une valeur finale.

Le traitement qui vient d'être décrit a été testé avec un appareillage du type de celui illustré sur la figure 1 qui comprend :

- un émetteur 1 ;
- 15 - un diviseur de puissance 2 à 3dB recevant le signal en sortie de l'émetteur 1 ;
- un extracteur de mode (ou orthomode) 3 relié par deux voies H et V aux sorties d'un diviseur de puissance 2 ;
- une antenne 4 à cornet transmettant ou recevant les deux
 20 polarisations H et V ;
- des circulateurs 5 (té de filtrage) interposés, sur les voies H et V, entre l'extracteur de mode 3 et le diviseur de puissance 2 ;
- un déphaseur 6 interposé, sur la voie V, entre le diviseur de puissance 2 et l'extracteur de mode 3 ;
- 25 - des moyens de réception 7 reliés, pour les voies H et V, aux circulateurs 5 ;
- un oscillateur 9 qui synchronise l'émetteur 1 et les moyens de réception 9 ;
- des moyens 8 d'échantillonnage, puis de traitement des sorties I et Q de ces moyens de réception 7, ces moyens de traitement 8
 30 permettant la détermination à partir des paramètres Z_H , Z_V et ΦDP , lesquels vérifient en notation complexe:

$$Z_{H,V} = [I_{H,V}^2 + Q_{H,V}^2]^{1/2} \quad \text{et} \quad \Phi DP = 1 \arg [(I_H + iQ_H) \cdot (I_V - iQ_V)]$$

où $I_{H,V}$ et $Q_{H,V}$ sont les valeurs obtenues par échantillonnage des sorties I et Q des voies H et V.

Ce sont ces moyens de traitement 8 qui mettent en œuvre le traitement de détermination qui a été décrit ci-dessus.

5 Les paramètres de fonctionnement de ce dispositif étaient les suivants :

- seuil de détection du radar à 0 dB SNR et à 10 km : 0 dBZ ;
- nombre d'échantillons indépendants N_i dans la cellule de résolution : 10 ou 60
- 10 - résolution radiale : 75 mètres
- bruit sur la mesure de Φ_{DP} : ± 1 degré (pour $N_i=60$), et ± 3 degrés (pour $N_i=10$)
- distribution dimensionnelle des gouttes exponentielle : $N(D) = N_0 \exp(-\Lambda D)$ [où D est le diamètre moyen des gouttes et où diamètre
- 15 Λ est un paramètre], avec N_0 constant le long de la radiale (avec les valeurs suivantes : 800, 8000 [valeur de Marshall et Palmer], 80000, ou continûment variable proportionnellement à R.

Dans ces conditions, les différents résultats suivants ont été obtenus :

20 1) N_0 constant.

Les figures 2a à 2c, 3a à 3c, 4a à 4c présentent les taux de pluie restitués pour un N_0 constant sur la radiale et valant respectivement 800, 8000, 80000. Dans ces 3 cas, on voit que les taux de pluie restitués sont très proches des taux de pluie simulés, et que la valeur du paramètre N_0

25 restituée est à chaque fois relativement proche de celle utilisée pour les simulations.

2) N_0 variant avec le taux de pluie.

Les inventeurs ont également testé le traitement sur des simulations

30 toujours réalistes mais réalisées avec un N_0 dépendant du taux de pluie, ce qui est assez conforme à la réalité mais qui rend "assez périlleuse" la

restitution du taux précipitant. La relation utilisée entre N_0 et le taux précipitant est la suivante :

5
$$N_0 = \frac{10^{\log(RR) + 6.6}}{1000}$$

Pour des taux de pluie variant de 0 à 80 mm/h, on voit que le paramètre N_0 explore une très large gamme, couvrant plus d'une décade. A titre d'indication, on a représenté sur la figure 5 les variations de N_0 sur la radiale simulée. Les restitutions obtenues avec le traitement précédemment décrit sont présentées sur les figures 6a à 6c. L'écart maximum observé est de l'ordre de 20%, ce qui semble raisonnable dans le cas de simulations "aussi défavorables".

15 3) Effets des biais relatif et absolu.

Les figures 7a à 7c et 8 à 8c présentent les résultats obtenus avec un biais absolu de 2dB et de 5dB respectivement. Une valeur de biais absolu de 2dB induit une erreur non négligeable sur l'estimation du paramètre N_0 , mais ne pénalise pas la restitution, puisque les taux de pluie restitués ne diffèrent de ceux qui ont été simulés que de quelques pourcents. En revanche, un biais absolu de 5dB semble rédhibitoire. Les résultats obtenus dans le cas de biais relatifs de 0.2 dB et de 0.5 dB et qui sont présentés sur les figures 9a à 9c et 10 à 10c, montrent la faible sensibilité de cet algorithme à une erreur d'étalonnage relative entre les deux polarisations

25 4) Effets du bruit.

Les inventeurs ont testé l'effet du bruit sur les restitutions dans le cas d'un nombre d'échantillons de 60 (figures 11a à 11c) et dans le cas plus défavorable de 10 échantillons (figures 12a à 12c). Dans ces deux cas, la mesure de la phase intégrée présente un bruit de 3 degrés. La restitution est réalisée tant que le rapport signal à bruit est suffisant. Pour un taux de pluie maximum de 80 mm/h, c'est le cas jusqu'à une distance radiale d'environ 19 km. Les résultats obtenus confirment le comportement

très stable de l'algorithme KDP. Dans ces conditions des coefficients de corrélation supérieurs à 0.95 et des biais inférieurs à 4 mm/h sont tout à fait satisfaisants.

5 5) Cas de très forts taux de pluie.

Les inventeurs ont vérifié la robustesse de l'algorithme dans le cas de forts taux de pluie, atteignant 200 mm/h et un signal bruité. Dans ce cas, le signal se noie assez rapidement dans le bruit, et évidemment il devient impossible de restituer la deuxième cellule de précipitations à cause de la
10 très forte atténuation du signal radar par la première. Cependant les taux de pluie obtenus jusqu'à environ 10 km sont cohérents et l'ensemble de la première cellule précipitante est très convenablement restitué (figures 13a à 13c).

Le traitement a également été testé dans d'autres bandes que la
15 bande X et notamment en bande C. Les résultats obtenus sont tout aussi satisfaisants qu'en bande X.

Ainsi, avec le traitement qui vient d'être décrit, on dispose d'un estimateur du taux précipitant qui est particulièrement stable vis-à-vis du bruit et/ou du biais sur les réflectivités et sur la phase. Ce traitement
20 parvient, y compris dans les cas difficiles (fort taux de pluie, N_0 variant rapidement avec le taux de pluie) à restituer le taux de pluie de manière très encourageante.

Le traitement des données est possible aussi longtemps que le rapport signal à bruit est supérieur à 1. Dans ces conditions, le biais sur
25 l'estimateur de R n'excède pas 5%, et son écart type 10%. La performance de l'estimateur est indépendante de N_0 (quand on le suppose constant le long de la radiale), et n'est que légèrement détériorée dans les conditions de N_0 variable. Un étalonnage absolu du radar à ± 2 ou 3 dBZ suffit pour assurer ces performances. Cet étalonnage n'est requis que pour affiner la
30 relation R-K à partir de laquelle on procède à l'estimée de R. Aucune spécification n'est requise en ce qui concerne l'étalonnage relatif des voies H et V.

L'estimateur de taux de pluie qui vient d'être décrit est particulièrement avantageux dans le cas de l'estimation de la pluie sur les bassins versants pour la surveillance des crues et la gestion des ressources en eau. Cette surveillance et cette gestion reposent aujourd'hui sur des
5 modèles de ruissellement/infiltration dont la principale limitation quant à la performance prédictive tient à une mauvaise connaissance de la lame d'eau entrant dans le système.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour l'estimation d'un taux précipitant au moyen d'un radar bipolaire, caractérisé par les différentes étapes suivantes :

- 5 - on mesure au moyen dudit radar bipolaire, sur un intervalle $[r_1, r_0]$ donné de rayon r de trajet par rapport audit radar, la phase différentielle Φ_{dp} et la réflectivité atténuée Z selon au moins l'une des polarisations H ou V,
 - on détermine une estimation de la valeur $K(r_0)$ de l'atténuation en r_0 à partir de l'équation

10

$$K(r_0) \int_{r_1}^{r_0} \frac{Z^b(s)}{Z^b(r_0) + K(r_0) \cdot I(s, r_0)} ds = \gamma \cdot (\phi_{dp}(r_0) - \phi_{dp}(r_1))$$

où : $I(s, r_0) = 0.46b \int_s^{r_0} Z^b(u) du$ et b est l'exposant de la relation puissance (r_0) en r_0

15 $K(r_0) = aZ(r_0)^b$

où $K(r)$ est l'atténuation spécifique en r_0 .

et où γ est le paramètre de proportionnalité entre l'atténuation spécifique et le taux de variation différentiel de la phase,

- on détermine une estimation $K(r)$ de l'atténuation spécifique en fonction de
 20 r à partir de l'équation

$$\frac{Z^b(r)}{K(r)} - \frac{Z^b(r_0)}{K(r_0)} = I(r, r_0)$$

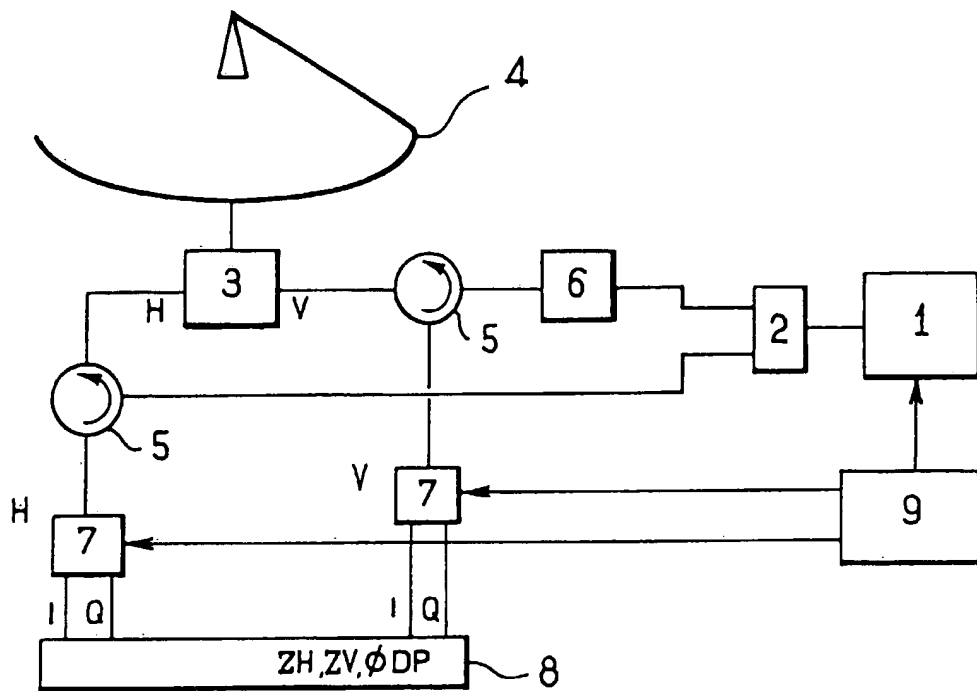
- on détermine le taux précipitant $R(r)$ connaissant $K(r)$.

- 25 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on mesure la réflectivité atténuée Z pour l'une et l'autre des deux polarisations H ou V et en ce qu'on détermine pour l'une et l'autre de ces deux polarisations le taux précipitant $R(r)$ pour un rayon de trajet donné r .

- 30 3. Dispositif pour l'estimation d'un taux précipitant comportant un radar bipolaire, ainsi que des moyens de traitement, caractérisé en ce que

ledit radar comporte des moyens pour la mesure de la phase différentielle Φ_{dp} et de la réflectivité atténuée Z selon au moins l'une des polarisations H ou V et en ce que les moyens de traitement mettent en œuvre les différentes étapes de traitement du procédé selon la revendication 1.

1 / 13

FIG.1

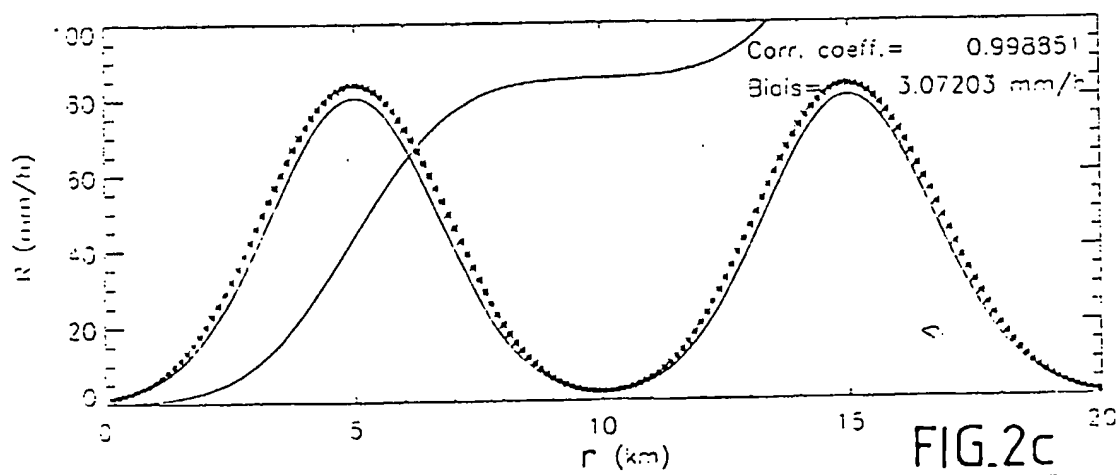
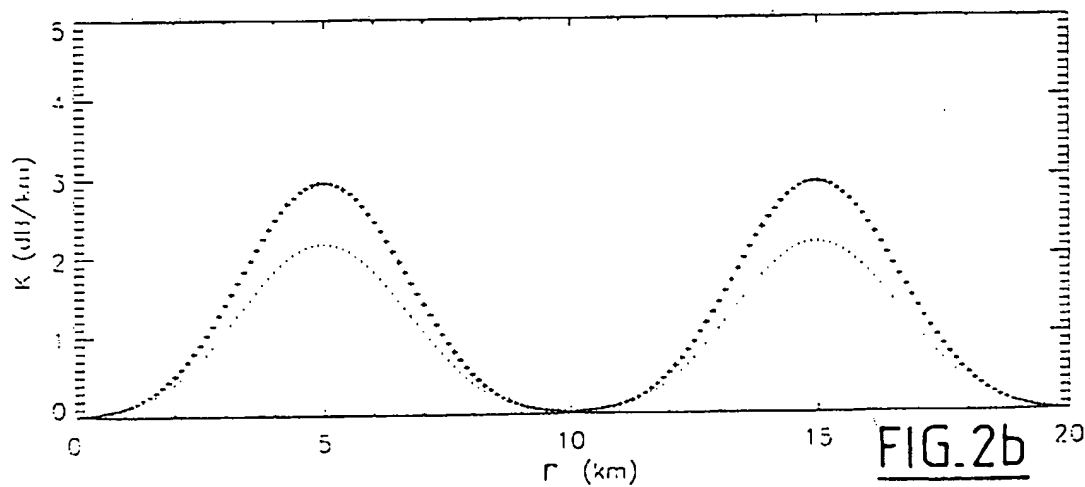
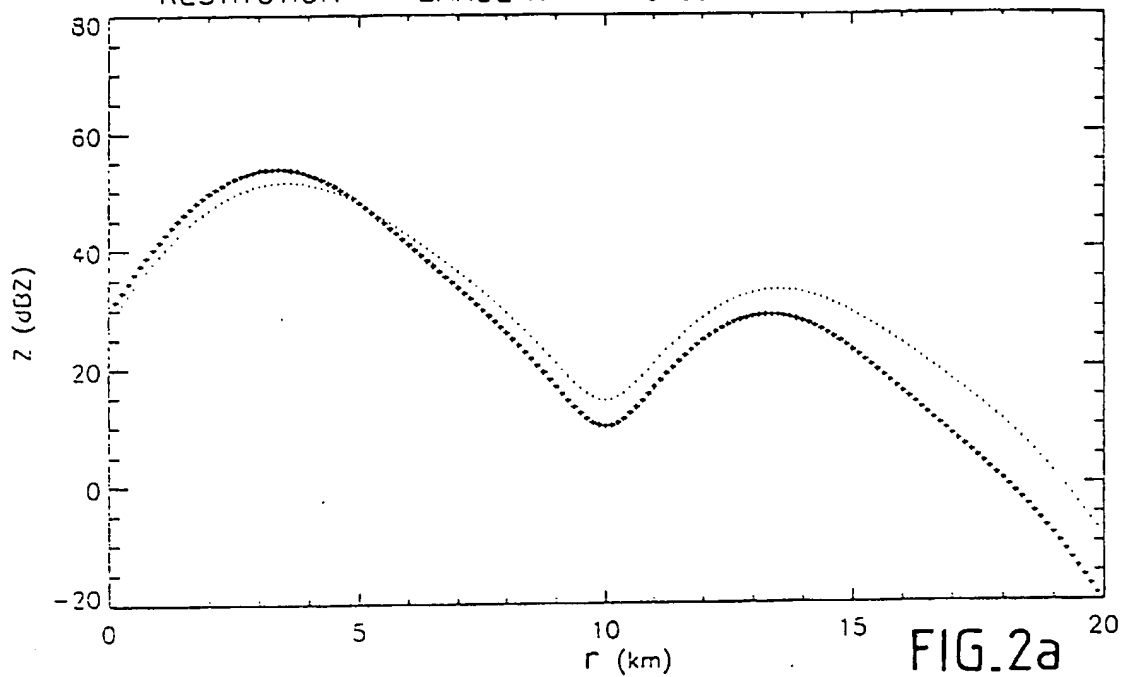
2 / 13

RESTITUTION

BANDE X

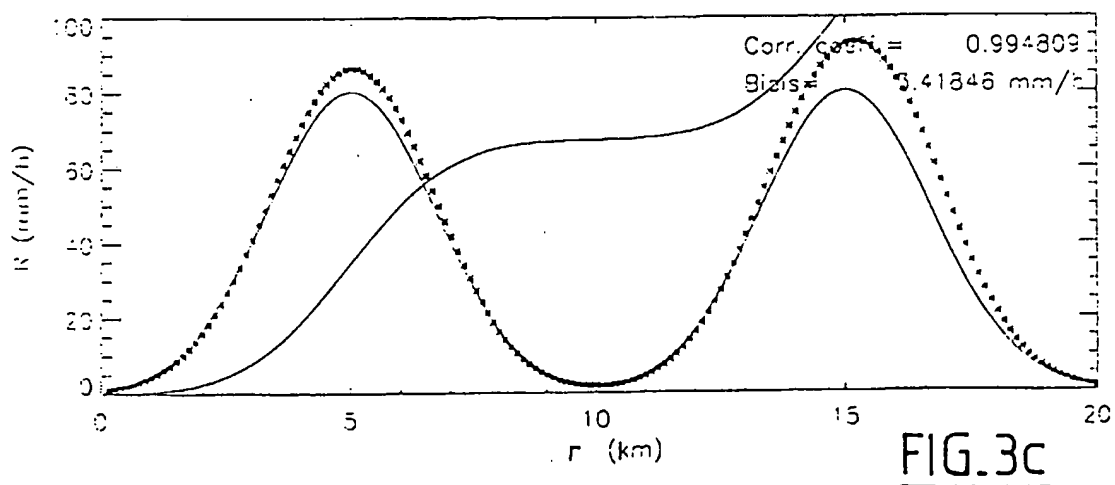
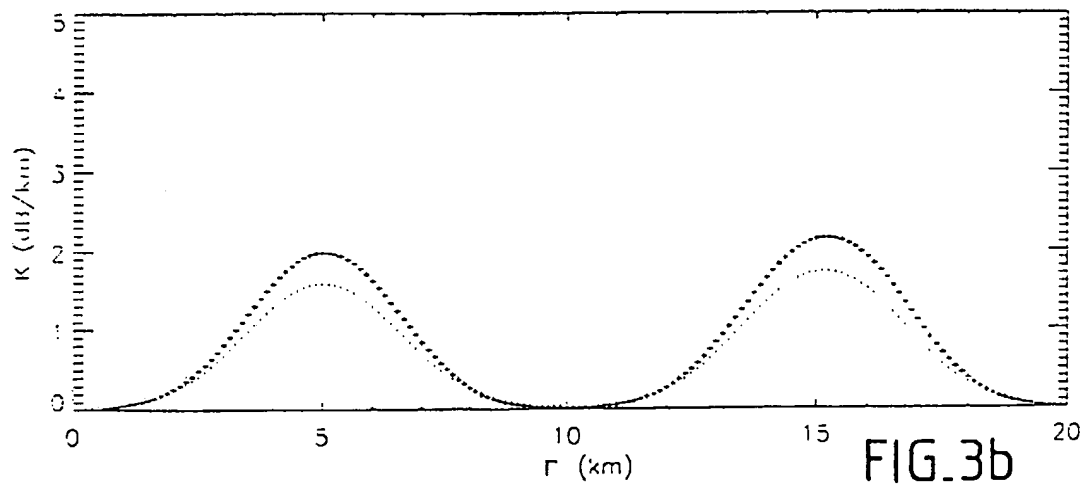
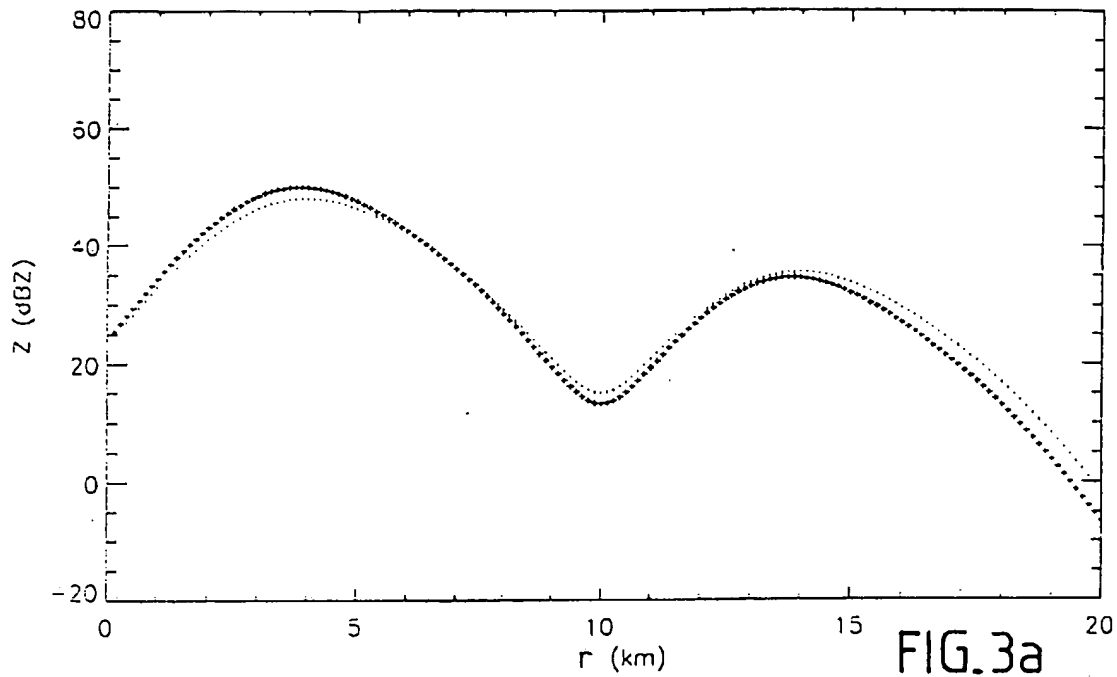
NO constant =

800.



3 / 13

BANDE X NO constant= 8000.

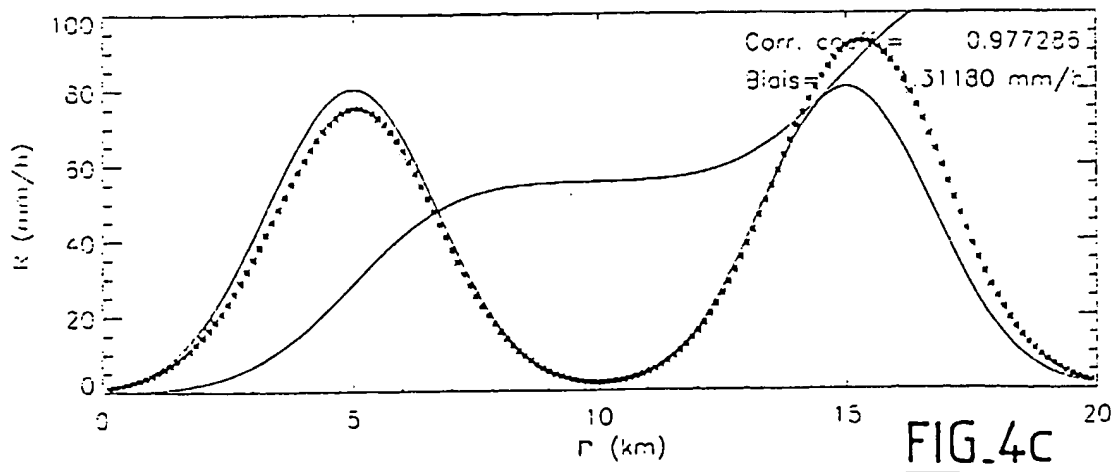
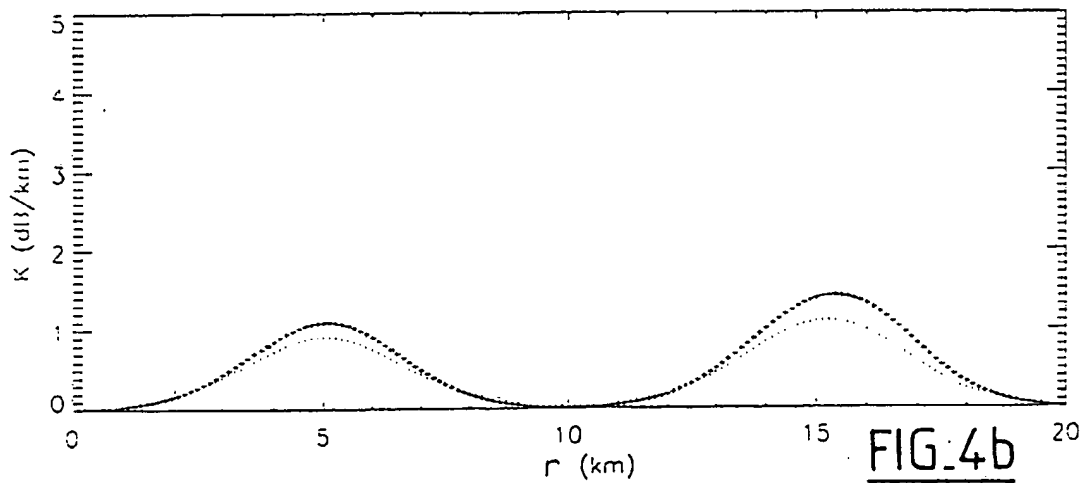
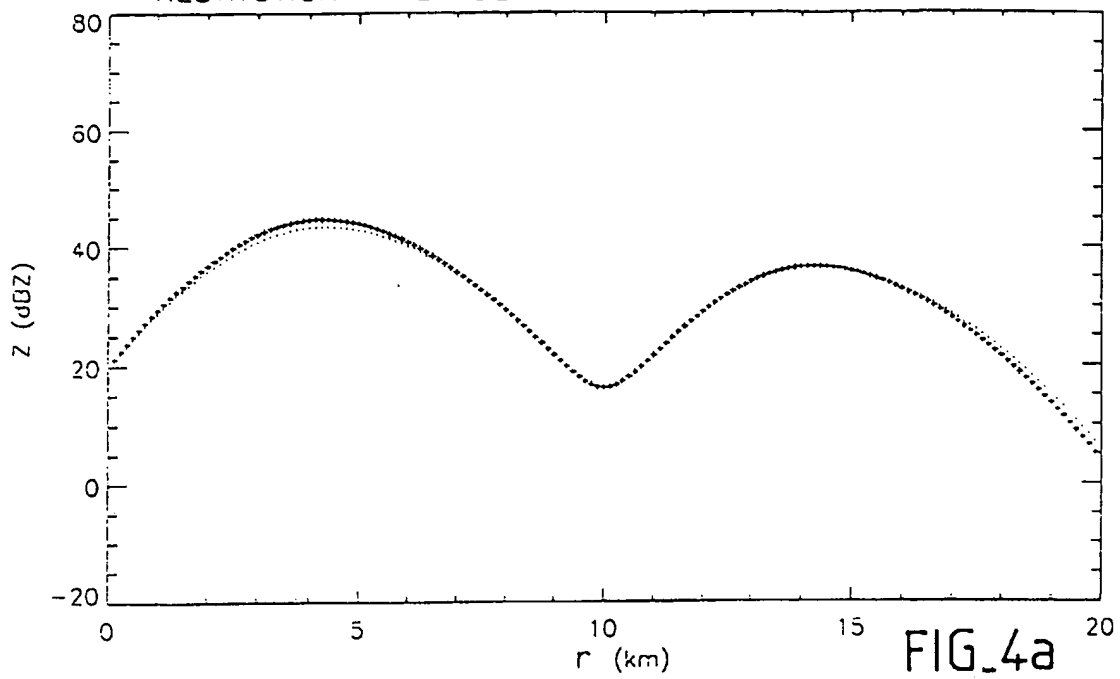


4 / 13

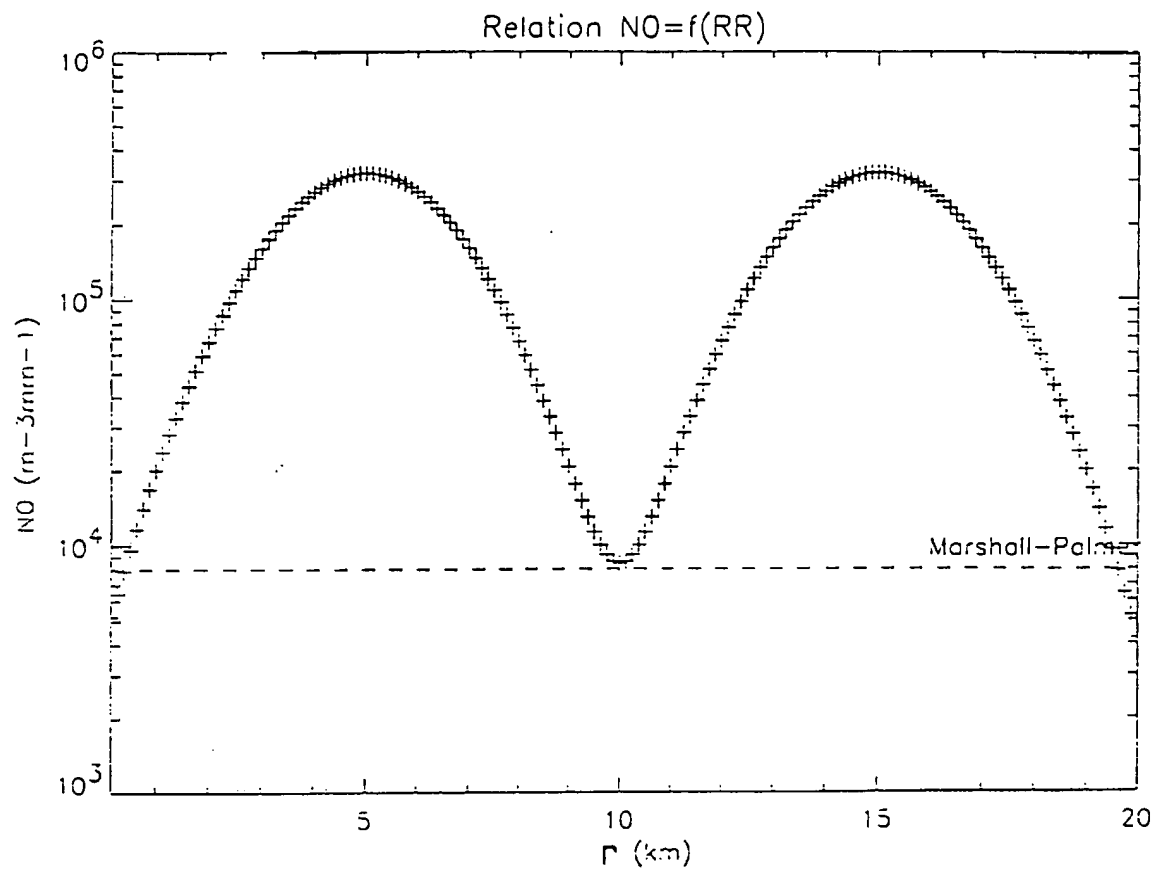
RESTITUTION

BANDE X

NO constant = 80000.



5 / 13

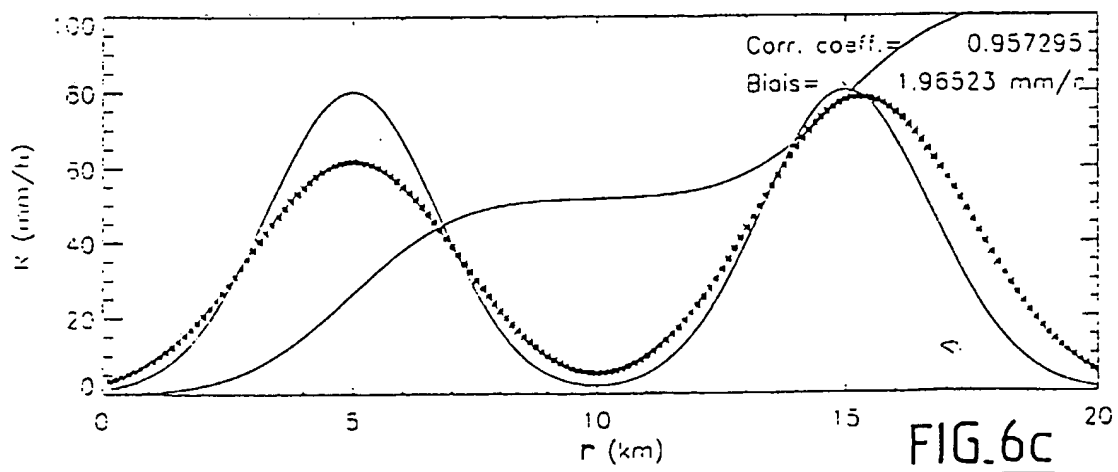
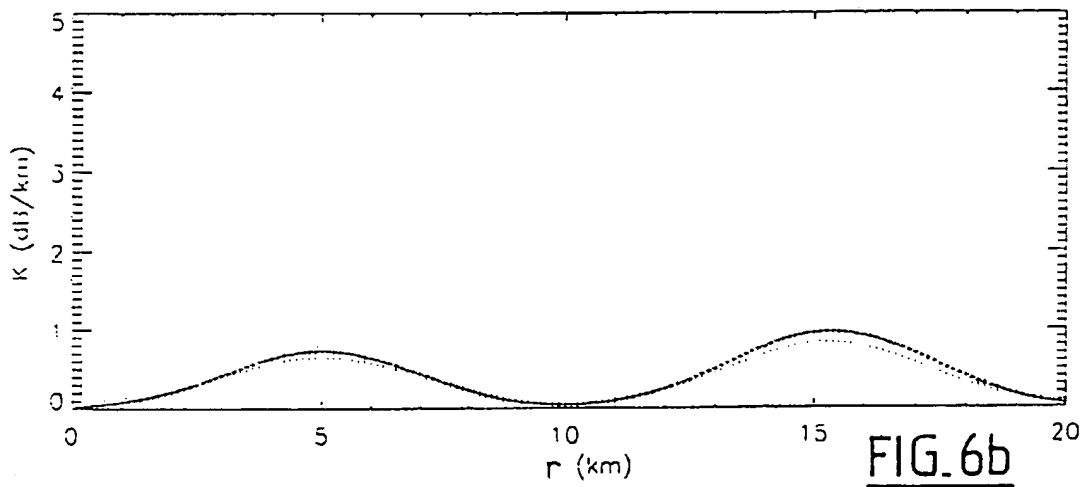
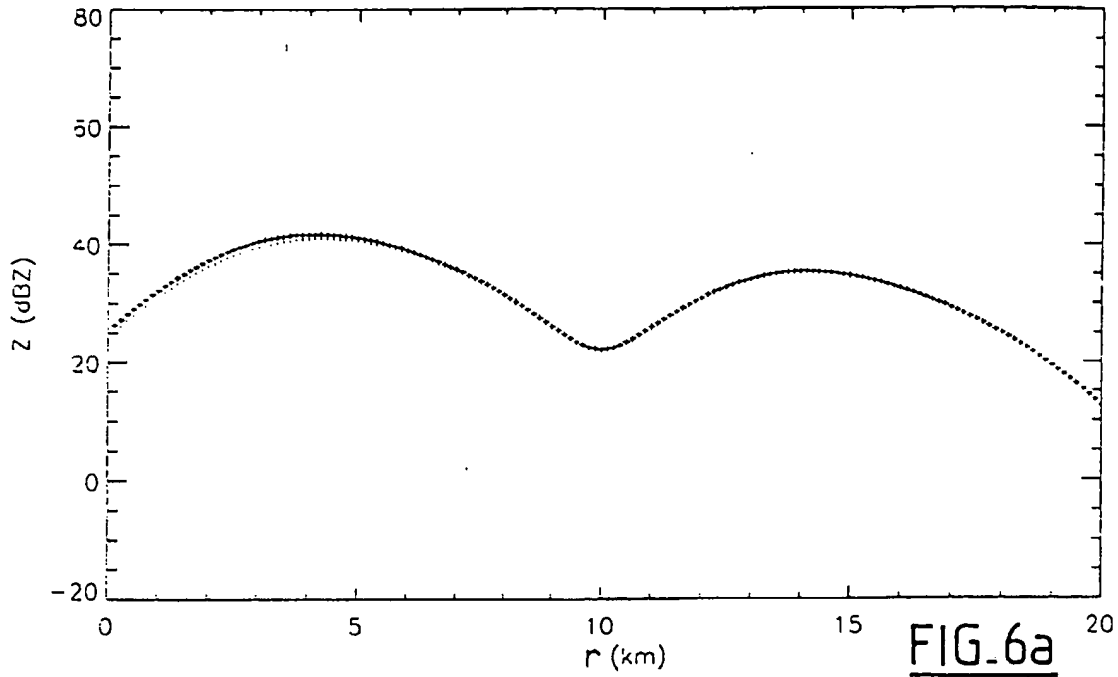
FIG.5

6 / 13

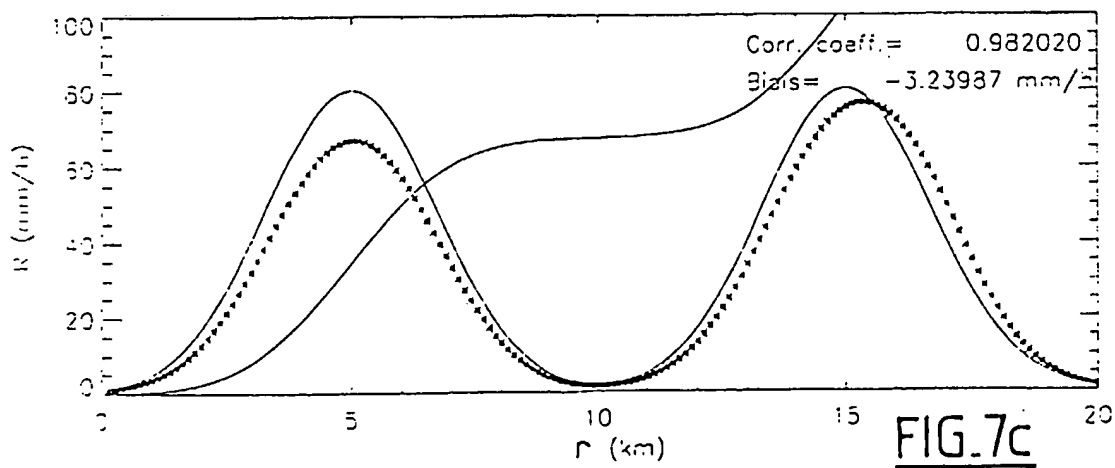
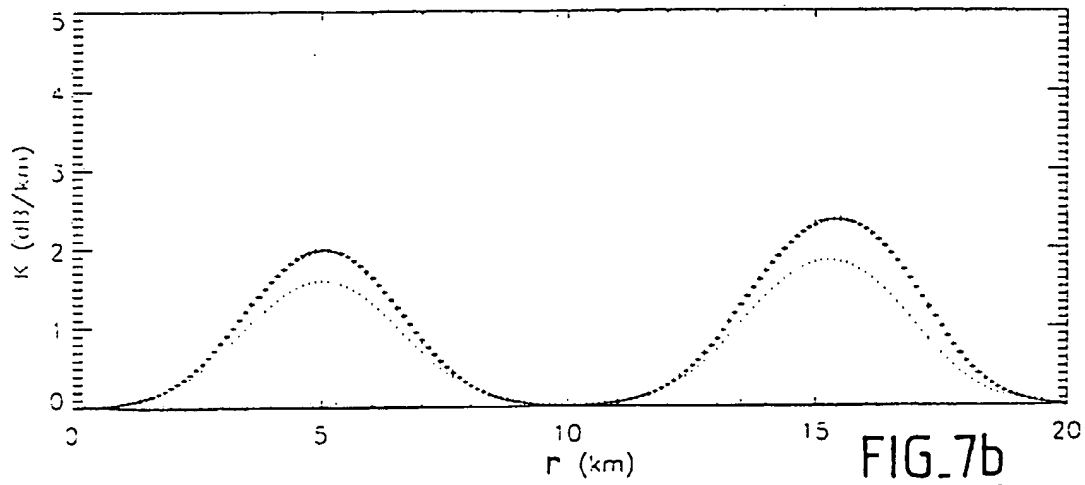
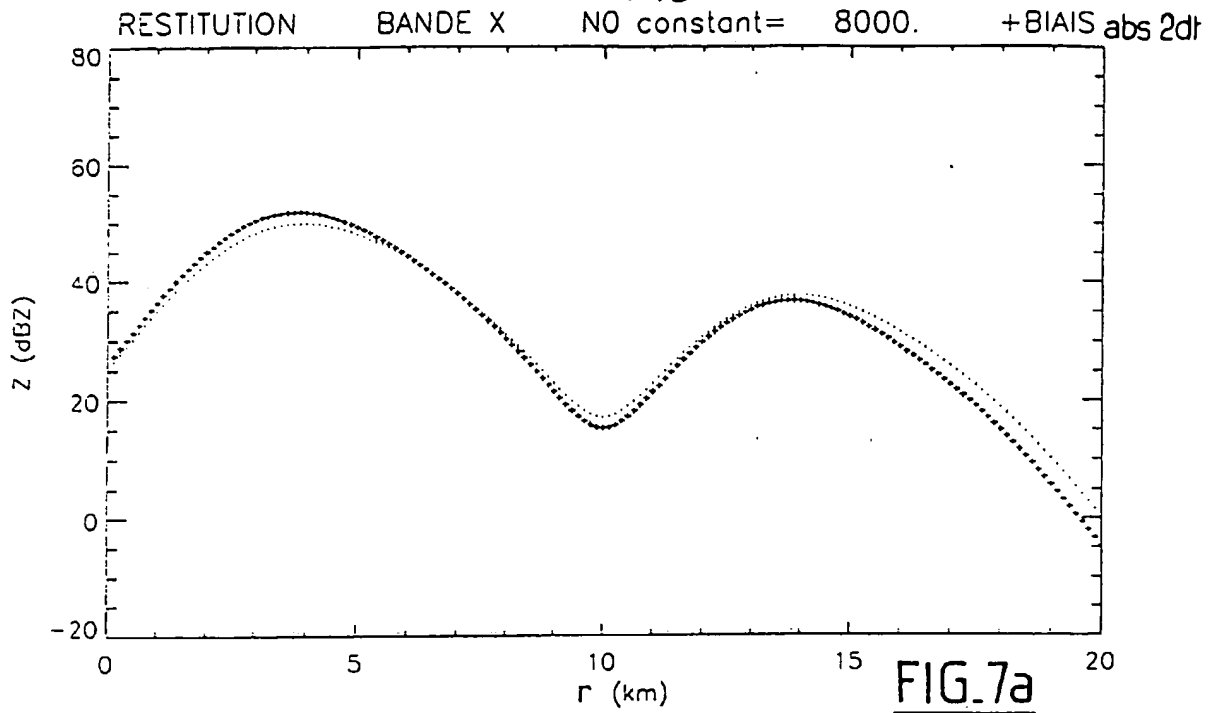
RESTITUTION

BANDE X

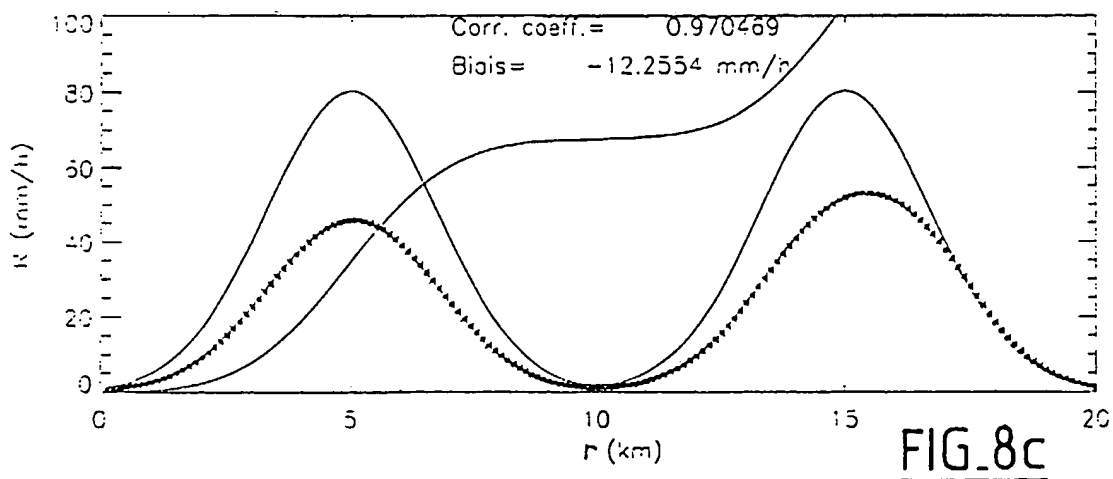
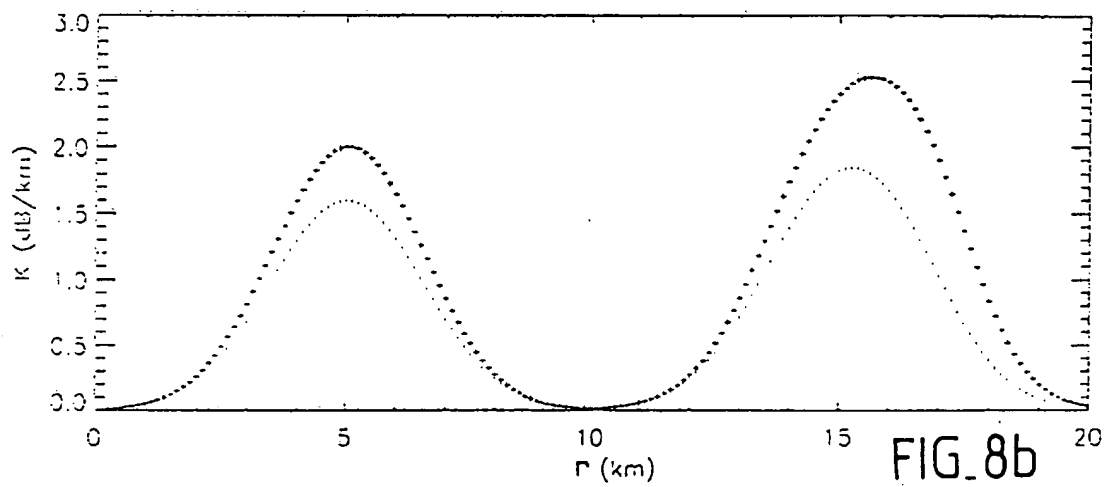
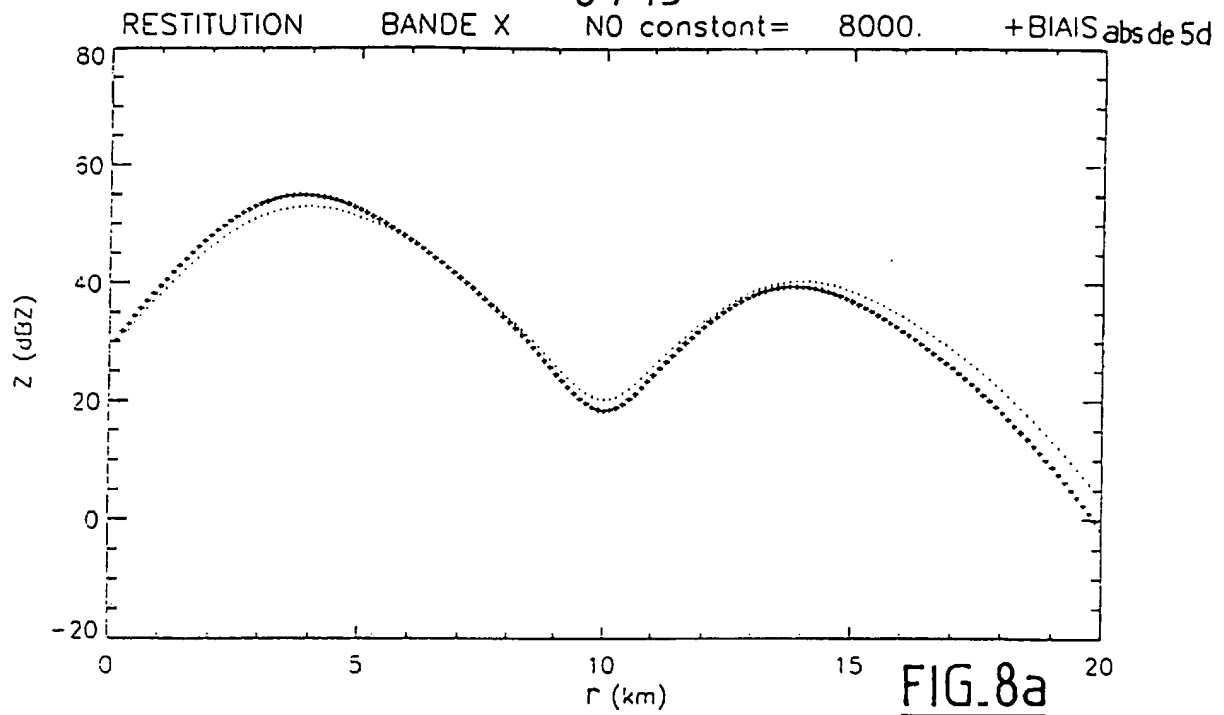
NO variable



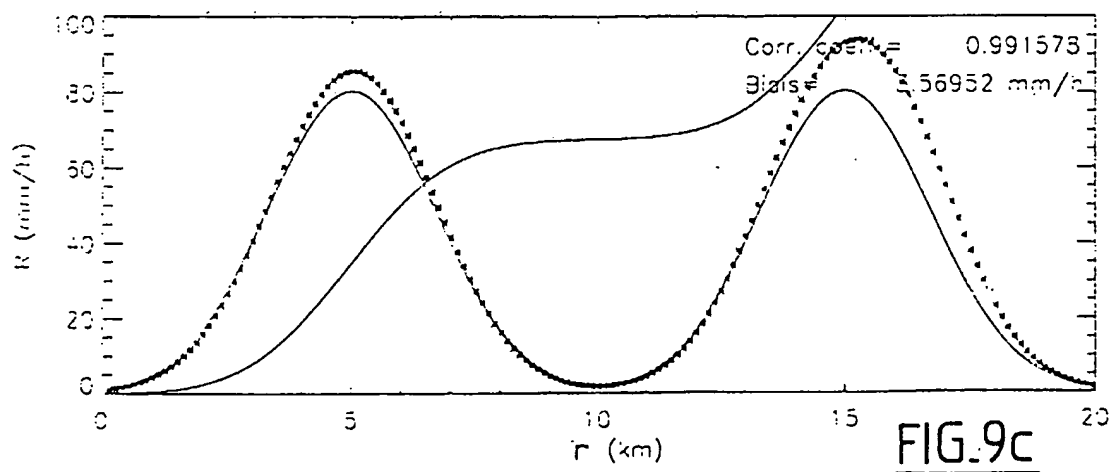
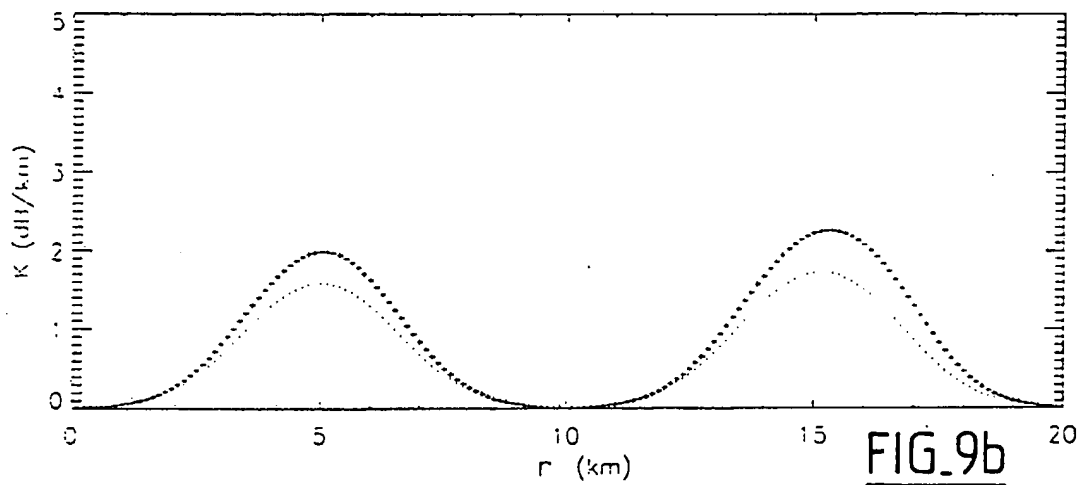
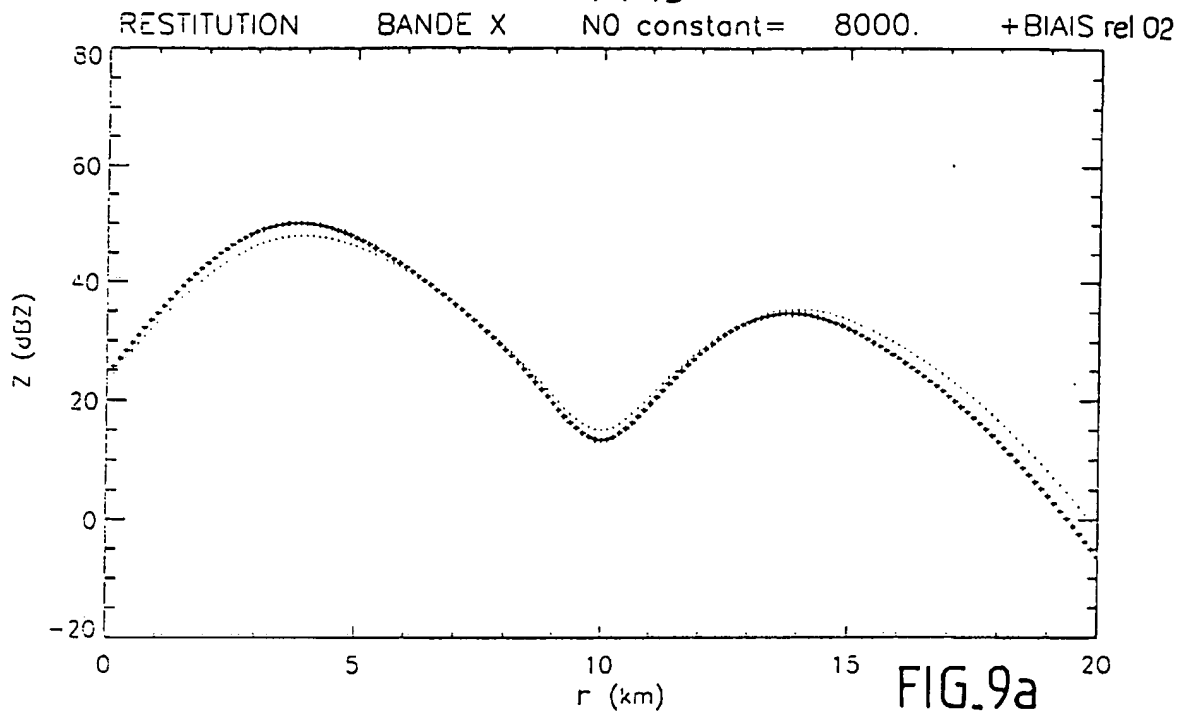
7/13



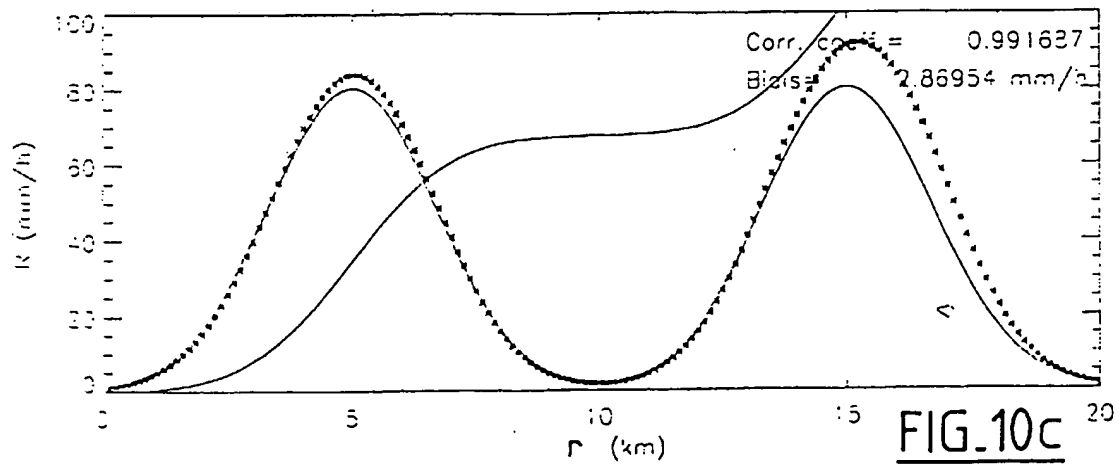
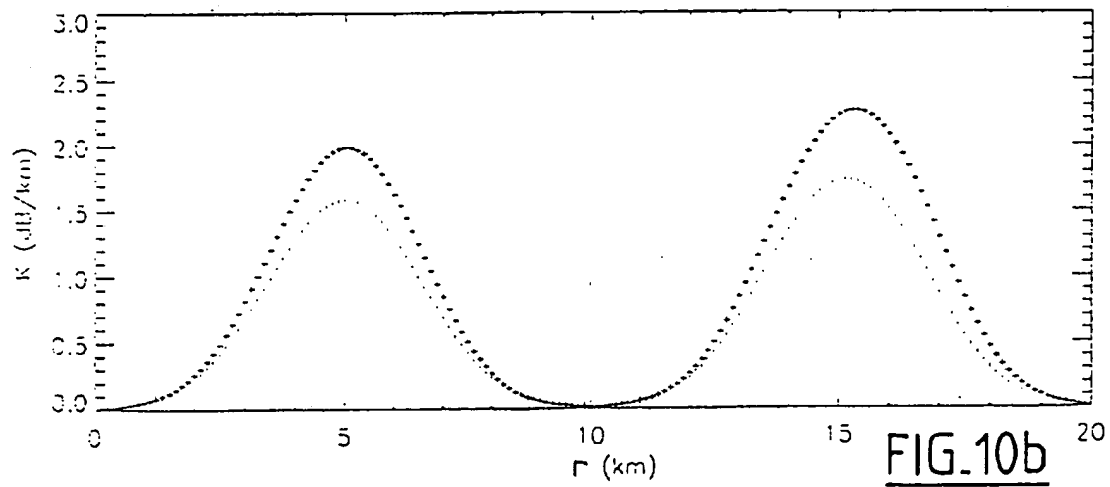
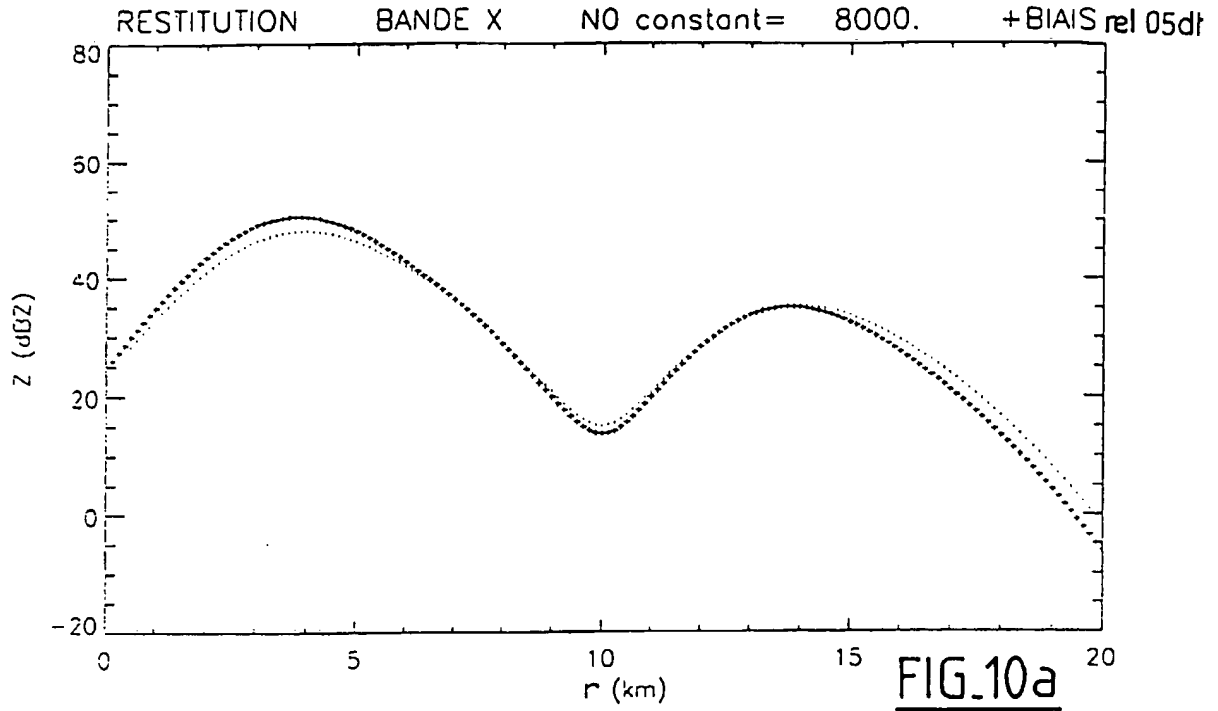
8 / 13



9/13



10/13

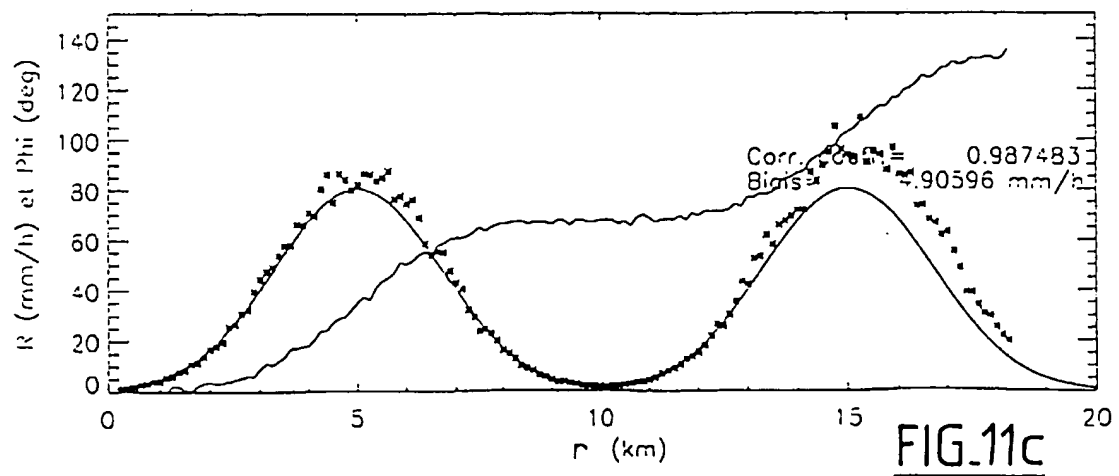
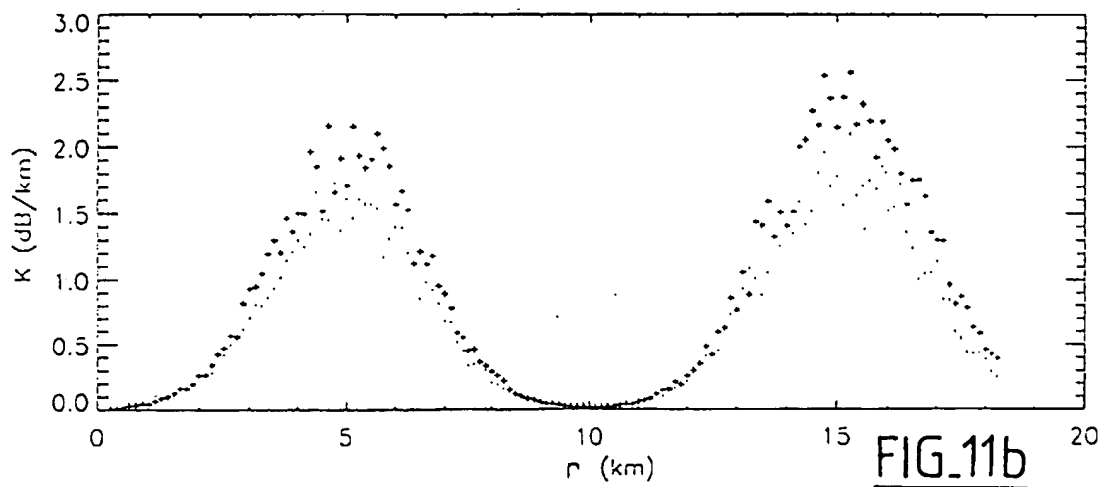
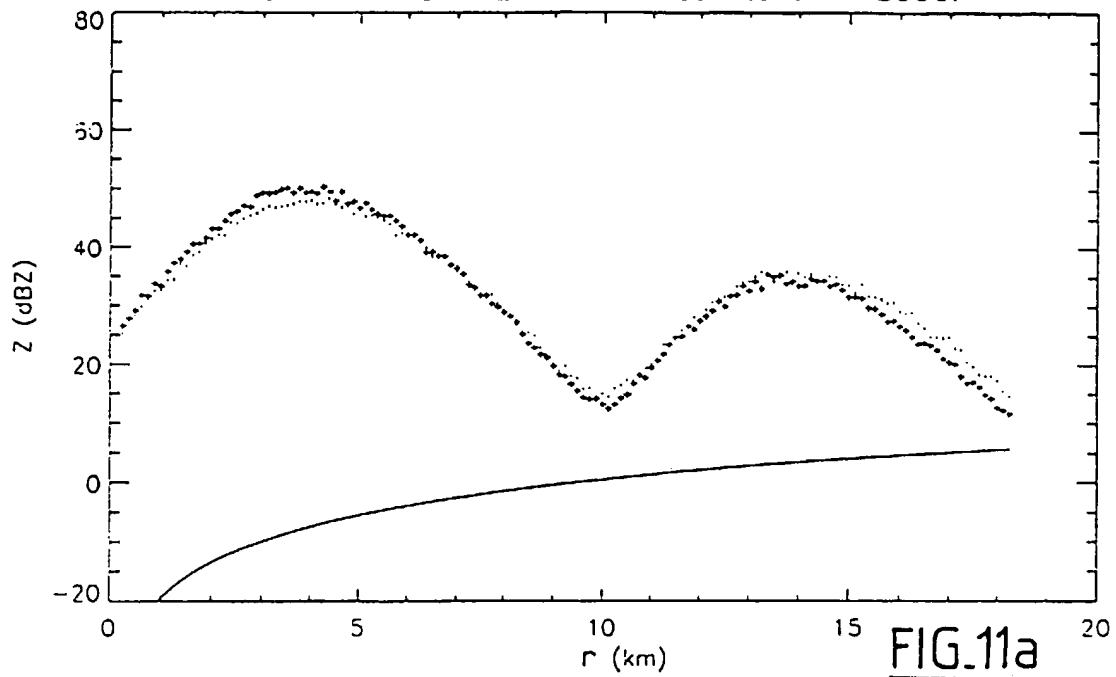


11/13

RESTITUTION

BANDE X

NO constant= 8000.



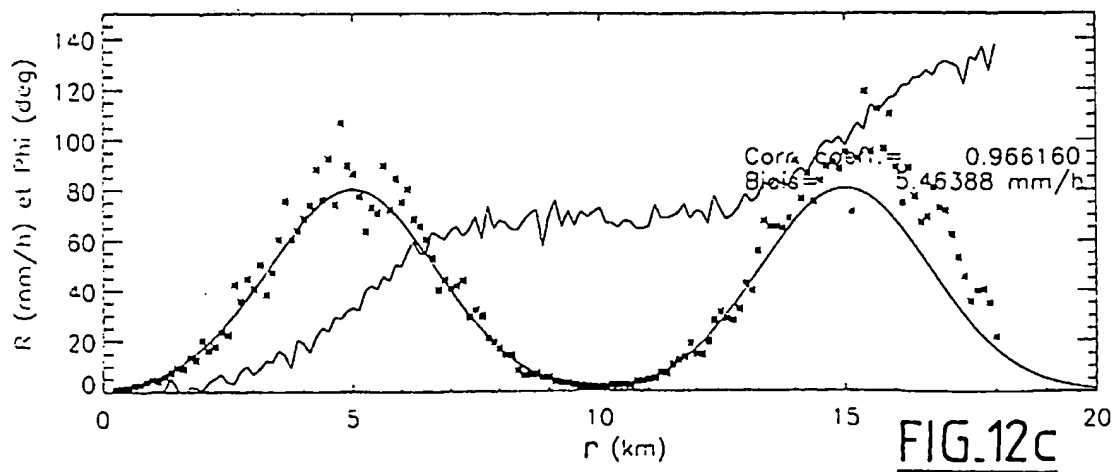
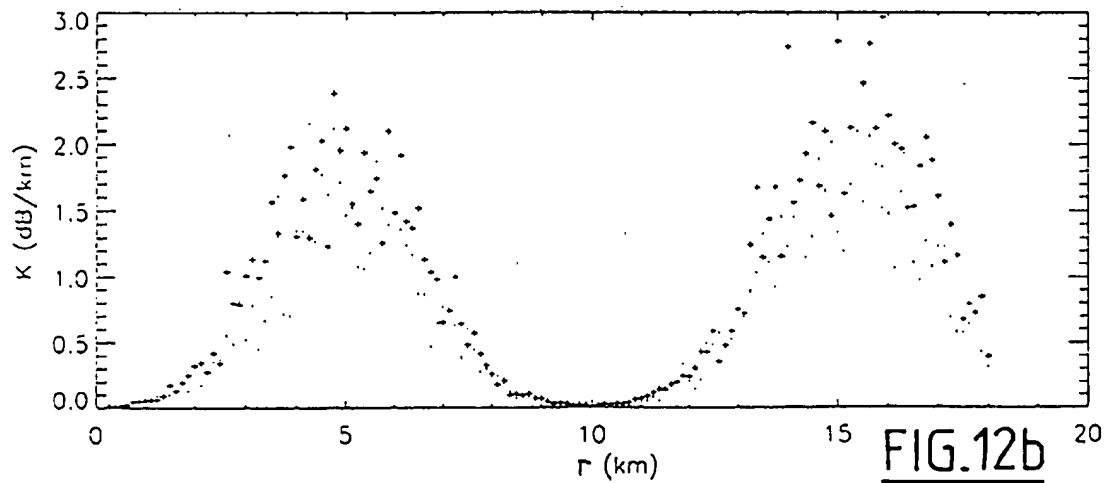
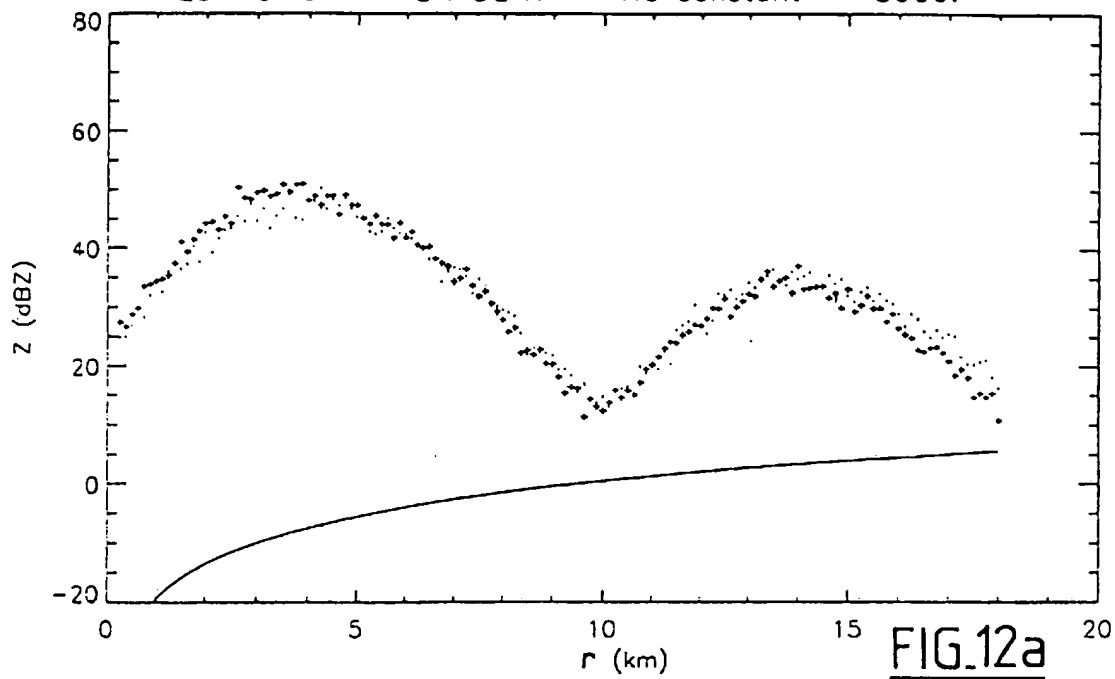
12/13

RESTITUTION

BANDE X

NO constant =

8000.



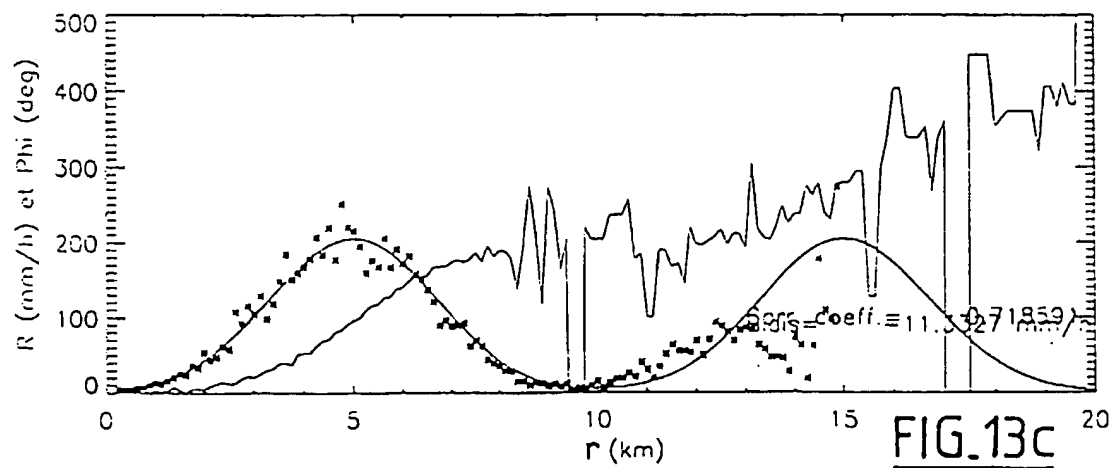
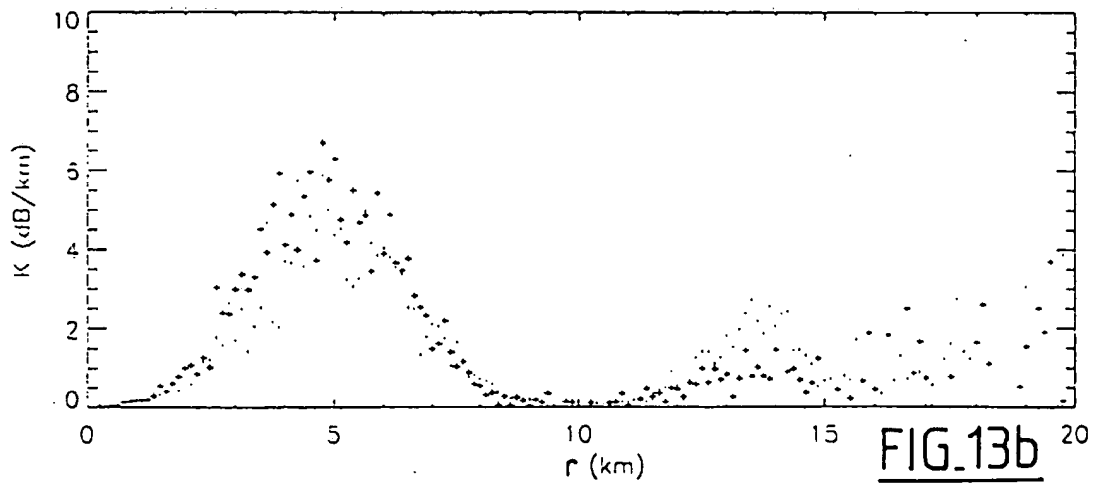
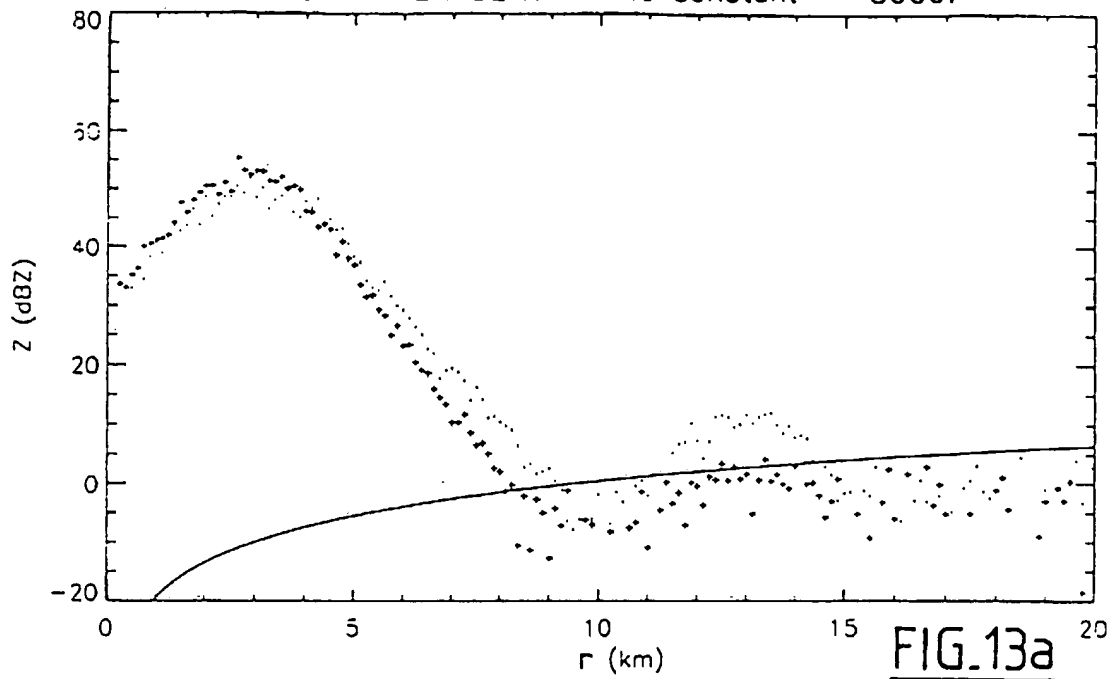
13/13

RESTITUTION

BANDE X

NO constant=

8000.



2774174

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 553162
FR 9800714

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	US 5 500 646 A (ZRNIC DUSAN S) 19 mars 1996 * le document en entier *	1,3
A	GODDARD J W F ET AL: "TECHNIQUE FOR CALIBRATION OF METEOROLOGICAL RADARS USING DIFFERENTIAL PHSE" ELECTRONICS LETTERS, vol. 30, no. 2, 20 janvier 1994, page 166/167 XP000430583 * le document en entier *	1,3
A	GORGUCCI E ET AL: "CALIBRATION OF RADARS USING POLARIMETRIC TECHNIQUES" IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, vol. 30, no. 5, 1 septembre 1992, pages 853-857, XP000325070 * le document en entier *	1,3
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
2 octobre 1998		Zaccà, F
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.82 (POAC13)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☒ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.